

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DO HIDROCARBONETO R290 PARA A SUBSTITUIÇÃO DO CFC12 EM REFRIGERADOR DOMÉSTICO**

**Jucelio Gomes da Silva**

Aluno Bolsista do Curso Técnico Subseqüente em Refrigeração e Climatização. Grupo de Estudos em Refrigeração e Ar-Condicionado. IFRN – Campus Santa Cruz. E-mail: juceliosilva2010@yahoo.com.br

**Igor Marcel Gomes Almeida**

Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Grupo de Estudos em Refrigeração e Ar-Condicionado. Campus Santa Cruz. E-mail: igor.almeida@ifrn.edu.br

---

**RESUMO**

Recentemente, muita atenção tem sido dada aos chamados fluidos naturais, que são menos agressivos ao meio ambiente e também apresentam grande importância na necessidade latente do aumento da eficiência energética dos equipamentos em comparação aos fluidos sintéticos. O presente trabalho trata de uma análise experimental do hidrocarboneto propano (R290) como fluido refrigerante em um bebedouro de água potável projetado para operar com R12 numa estratégia de drop-in. O bebedouro foi preparado através da instalação de um manômetro na linha de alta pressão e um na linha de baixa pressão, termopares em cinco pontos estratégicos do ciclo termodinâmico: sucção do compressor, descarga do compressor, saída do condensador, entrada do evaporador e saída do evaporador, além da medição da temperatura da água e do ambiente. O ensaio de abaixamento de temperatura foi realizado durante 90 minutos sem atuação do termostato. A carga do hidrocarboneto propano (R290) aplicado ao equipamento foi reduzida em 61,5% com relação ao R12. Foram monitorados os dados de pressões de sucção e descarga do compressor, corrente elétrica consumida pelo compressor e temperaturas nos pontos do ciclo de refrigeração. Os parâmetros obtidos do ensaio foram comparados através do uso do software Coolpack, onde os diagramas pressão-entalpia (P-h) para os fluidos foram obtidos e as características operacionais de trabalho de compressão, efeito refrigerante, efeito de condensação e coeficiente de performance (COP) foram estudadas. Os resultados obtidos demonstraram um consumo de corrente elétrica 30% inferior em relação à operação com R12, porém, com muitas oscilações durante o tempo. As pressões para o R290 se apresentaram maiores em comparação com o R12. A razão de pressões do R290 foi 28% menor que para o R12. Após 16 minutos de funcionamento ocorreu a formação de gelo na serpentina do evaporador. O COP obtido para o R290 foi de 2,60, enquanto que para o R12 foi de 2,43. A utilização do hidrocarboneto se mostrou eficiente para o equipamento de pequeno porte. Sendo compatível com o óleo do compressor e não necessitando de substituição de nenhum componente do sistema além de permitir a redução da quantidade de fluido refrigerante do sistema.

**PALAVRAS-CHAVE:** eficiência energética, propano, refrigerador doméstico; drop-in.

**EXPERIMENTAL ANALYSIS OF HYDROCARBON R290 FOR REPLACEMENT OF CFC12 IN HOUSEHOLD REFRIGERATORS**

**ABSTRACT**

Recently, much attention has been paid to so-called natural fluids, which are less harmful to the environment and also have great importance in the latent need of increased energy efficiency of equipment in comparison to synthetic fluids. This work is an experimental analysis of the hydrocarbon propane (R290) as refrigerant in a drinking water fountain designed to operate with a strategy of R12 drop-in. The trough was prepared by installing a pressure gauge in line at a high pressure and low pressure line, five thermocouples in strategic points of the thermodynamic cycle: compressor suction, discharge of the compressor, condenser outlet, the evaporator inlet and outlet evaporator, and measuring the temperature of the water and the environment. The lower the temperature test was conducted for 90 minutes without acting thermostat. The charge hydrocarbon propane (R290) applied to the equipment was reduced by 61.5% compared to R12. Were monitored data from suction and discharge pressures of compressor, electric current consumed by the compressor and temperatures in parts of the refrigeration cycle. The parameters obtained from the experiment were compared by using the software Coolpack, where the pressure-enthalpy diagrams (Ph) for the fluids were obtained and the operational characteristics of work of compression, cooling effect, effect of condensation coefficient of performance (COP) were studied. The results showed a consumption of electric current 30% down on the transaction with R12, but with many variations over time. The pressures for the R290 showed higher if compared with the R12. The pressure ratio of R290 was 28% lower than for the R12. After 16 minutes of operation was the icing on the evaporator coil. The COP obtained for R290 was 2.60, while for the R12 was 2.43. The use of hydrocarbons is efficient for small equipment. Being compatible with the compressor oil and not needing to replace any component of the system and allow to reduce the amount of refrigerant in the system.

---

## ANÁLISE EXPERIMENTAL DO HIDROCARBONETO R290 PARA A SUBSTITUIÇÃO DO CFC-12 EM REFRIGERADOR DOMÉSTICO

---

### INTRODUÇÃO

Em 1930, Thomas Midgley Jr. desenvolveu uma pesquisa que permitiu o uso dos clorofluorcarbonos (CFC), estes desde então, foram maciçamente utilizados como fluidos refrigerantes por apresentarem características aplicáveis à refrigeração, tais como: desejáveis propriedades termodinâmicas, boa transferência de calor, compressibilidade, baixíssimo custo e fácil sintetização. Dentre os refrigerantes mais utilizados naquela época, destacou-se o R12.

Porém, desde a confirmação da destruição da camada de ozônio e do aquecimento global causado por gases CFC's, numa pesquisa inédita desenvolvida por Crutzen, Rowland e Molina, em 1974, a humanidade tem buscado soluções alternativas ao uso destes tipos de gases, uma das mais conhecidas são as resoluções do Protocolo de Montreal, em que se estabeleceram metas para controlar e eliminar o uso de gases CFC's e, desde então, acelerou-se as pesquisas buscando refrigerantes alternativos e naturais, evitando depredação ao meio ambiente.

Em setembro de 2007, quando se comemorava os 20 anos de sucessos do Protocolo de Montreal, uma nova decisão histórica foi tomada pelo conjunto dos países signatários. Com o fim dos CFC's, previsto para 2010, decidiu-se pelo início do processo de substituição dos HCFC's já em 2013, antecipando em dez anos o prazo previsto pelo Protocolo de Montreal para o abandono destes gases. Além dos benefícios para a recomposição da Camada de Ozônio, objeto do Protocolo, a medida traz também um enorme benefício para o regime climático, dado o acentuado Potencial de Aquecimento Global (GWP) dos HCFC's.

Ao longo de seus 20 anos, a eliminação dos CFC's contribuiu significativamente para que se evitasse a emissão de bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente e pode continuar a fazê-lo com uma relação custobenefício das mais favoráveis. Somente no Brasil, a antecipação do prazo de eliminação dos CFC's determinada pela resolução 267/2000 do CONAMA evitou o consumo de 36,5 mil toneladas PDO de CFC's, o que equivale, quanto ao seu efeito para o aquecimento global, a 360 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>. A título de comparação, o ProÁlcool, o mais bem sucedido programa de combustíveis renováveis do mundo, evitou de 1975 a 2005 a emissão de 650 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>. Antecipar os prazos de abandono de HCFC's significará novos ganhos.

No entanto, os esforços de pesquisa e desenvolvimento na área de Refrigeração e Ar Condicionado aplicados ao uso de fluidos refrigerantes naturais não esta associada somente à necessidade de preservação do meio-ambiente em si, mas também apresenta grande importância na necessidade latente do aumento da eficiência energética dos equipamentos pois os refrigeradores estão dentre os equipamentos que representam as maiores participações no consumo residencial de eletricidade no Brasil. Essa participação é estimada em torno de 30% representando em 2004 um consumo de eletricidade aproximado de 23.000 GWh, cerca de 6,3% do consumo total de eletricidade no país. Apesar dos avanços no aumento da eficiência no consumo de energia dos refrigeradores disponibilizados no mercado, o que é indicado pelo selo PROCEL, ainda existe em operação nos domicílios brasileiros muitos equipamentos antigos com tecnologias ineficientes. Tal característica é observada na Decisão XIX/6 do Protocolo de

Montreal. Neste sentido, de acordo com diversas pesquisas realizadas com tais fluidos, a utilização de hidrocarbonetos em operações de drop-in em equipamentos de refrigeração proporcionam condições favoráveis à redução do consumo energético. Hidrocarbonetos, como o gás liquefeito de petróleo (GLP), são ambientalmente corretos e encontram-se disponíveis na natureza, neste sentido, as utilizações destas substâncias como fluidos refrigerantes em refrigeradores domésticos é muito atrativa. Pouca informação se encontra disponível na literatura científica sobre a utilização de hidrocarbonetos em refrigeradores domésticos. A maioria dos trabalhos está concentrada na substituição do CFC-12, e poucas pesquisas abordam a substituição do HFC-134a, que é o fluido atualmente utilizado nestes equipamentos.

Estima-se que a participação de refrigeradores com idade superior a 15 anos no estoque em uso seja de aproximadamente 12%. Isso indica prolongamento da utilização de equipamentos com utilização de tecnologias ineficientes e com eficiência degradada. O consumo desses equipamentos pode ser até cinco vezes superior aos equipamentos novos com classificação (A) do selo PROCEL (MELO e JANNUZZI, 2008). Desta forma, observa-se a importância de buscas de alternativas para redução do consumo energético de refrigeradores domésticos no Brasil. Especificamente no caso da cidade de Santa Cruz-RN, a maior parcela de consumo energético anual se dá no setor residencial, onde os refrigeradores contribuem em grande parte com tal nível de consumo, que é de 8695 MWh, de um total de 19232 MWh incluindo todos os setores (industrial, comercial, rural, poderes públicos, iluminação pública e outros setores) (IBGE, 2007). Uma das alternativas possíveis para tal objetivo consiste na substituição de fluidos refrigerantes sintéticos por naturais, como os hidrocarbonetos, em operações de drop-in. Resultados experimentais demonstram reduções no consumo de energia de 4,3% (MOHANRAJ et al., 2007), 5% (WONGWISES e CHIMRES, 2005) e de até 20% (MACLAINE-CROSS, 1997).

A finalidade deste trabalho consiste em analisar os parâmetros operacionais de um sistema de refrigeração doméstico (refrigerador de água potável) projetado para o R12 operando com hidrocarboneto R290 (propano) sem alterações dos componentes do equipamento, dentro de uma estratégia de drop-in.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com a demonstração da relação existente entre as emissões de CFC's e a destruição da camada de ozônio estratosférico feita por Rowland e Molina em 1974 e a conseqüente assinatura do Protocolo de Montreal em 1987, que impôs metas para a eliminação dos CFC's e HCFC's, a questão do impacto ambiental causado pela indústria de refrigeração e climatização parecia então resolvida. Entretanto, a discussão sobre o aquecimento global que há algum tempo vinha ganhando força na comunidade científica, findou por levar, em 1997, à assinatura do Tratado de Kyoto, onde se assumiram metas para a redução da emissão de gases do efeito estufa (entre eles os HFC's) pelos países desenvolvidos. Novamente, a comunidade industrial e científica atuando no setor de refrigeração e climatização mundial se encontrava em face da necessidade de desenvolver uma nova geração de fluidos refrigerantes, agora comprometidos também com a preservação do meio-ambiente.

RICHARDSON e BUTTERWORTH (1995) conduziram experimentos para investigar a performance de refrigerantes hidrocarbonetos em um sistema de refrigeração por compressão de vapor hermético. Os testes foram feitos utilizando R12, propano e misturas de propano/isobutano

variando em torno da composição de 50%/50%. Os autores constataram que a mistura de propano/isobutano com composição de 50% em massa de propano apresenta o maior COP, menor carga no sistema e menor temperatura na parede do compressor quando comparado ao R12.

MACLAINE-CROSS (1997) demonstra que os refrigerantes hidrocarbonetos proporcionam 20% de redução no consumo de energia em relação ao CFC12 e HFC134a.

KIM et al., (1998) avaliaram a performance do refrigerante hidrocarboneto R600a como alternativa ao R12 em um refrigerador doméstico de 215 litros de capacidade de degelo automático. Os autores desenvolveram uma análise teórica utilizando o software REFPROP, baseados no ciclo de refrigeração por compressão de vapor padrão ASHRAE e em seguida conduziram uma série de testes experimentais com o R600a. Para a realização dos testes somente o compressor e o tubo capilar foram modificados no equipamento. Os ensaios foram realizados sob condições controladas de temperatura e umidade relativa ambiente (30°C e 75%, respectivamente).

ALSAAD e HAMMAD (1998) examinaram a utilização de gás liquefeito de petróleo (GLP) com 24,4% de R290, 56,4% de R600 e 17,2% de R600a como um refrigerante de drop-in para refrigeradores domésticos com R12. Os autores reportaram uma temperatura do evaporador de -15°C e coeficiente de performance de 3,4 para uma temperatura de condensação de 27°C quando GLP é utilizado.

HAMMAD e ALSAAD (1999) investigaram os parâmetros de performance de refrigerador doméstico sem modificações quando 100% de R290; 75% de R290, 19,1% de R600, 5,9% de R600a; 50% de R290, 38,3% de R600, 11,7% de R600a; ou 25% de R290, 57,5% de R600 e 17,5% de R600a são usados como possíveis alternativas de substituição ao R12. Os autores mostraram que a mistura de hidrocarbonetos com 50% de R290, 38,3% de R600 e 11,7% de R600a é o melhor refrigerante alternativo.

TASHTOUSH et al., (2002) apresentou um estudo experimental sobre a performance de refrigeradores domésticos por compressão de vapor com novas misturas de hidrocarbonetos/hidrofluorcarbonos como refrigerantes para substituição do CFC12. Os resultados revelaram que a mistura de R600, R290 e HFC134a apresenta excelente performance.

## **METODOLOGIA EXPERIMENTAL**

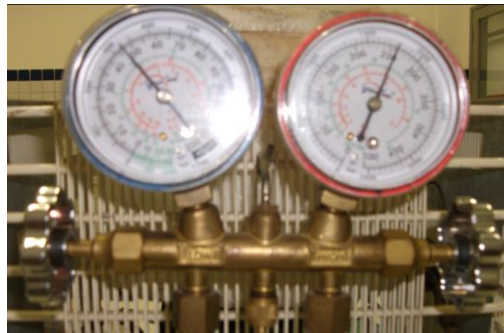
Para determinação experimental do coeficiente de performance (COP) do refrigerador doméstico (refrigerador de água potável) disponível no laboratório de refrigeração residencial do IFRN Campus Santa Cruz foram instalados estrategicamente ao longo do circuito frigorífico instrumentos para medição de pressão (manômetro), de temperatura (termopares) e da corrente elétrica consumida pelo compressor (alicate amperímetro).

Originalmente, o protótipo de teste é equipado com o gás refrigerante R12, um CFC que ataca a camada de ozônio. Para o experimento, o gás refrigerante hidrocarboneto R290 foi inserido no equipamento de teste em substituição ao gás instalado originalmente, sem modificação das características técnicas do refrigerador de teste apresentado na Figura 3.

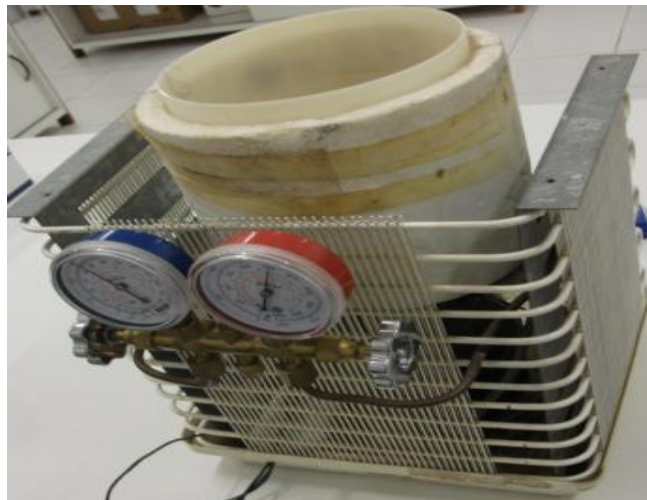
Inicialmente foi preparado o ambiente para a realização de ensaios. Foi verificado se todos os instrumentos e equipamentos estavam funcionando corretamente antes da coleta de dados para a avaliação da performance do equipamento. Alguns dos instrumentos empregados na experiência são: um manômetro de alta pressão e de baixa pressão tipo manifold (ver Figura 2); termômetro digital Penta III com cinco sensores da marca Fullgauge com termopares do tipo K (ver Figura 1). A Tabela



**Figura: 1** Conjunto de termopares (5 sensores).



**Figura 2 -** Conjunto de manômetros (manifold).

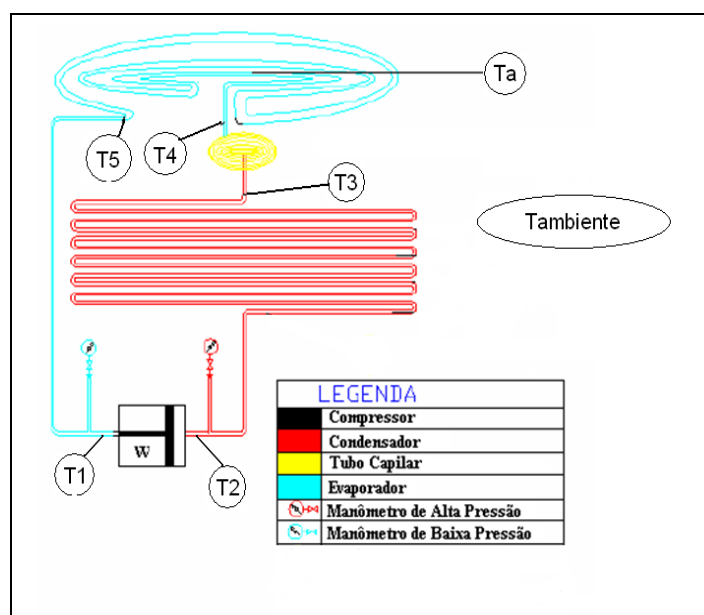


**Figura 3 –** Refrigerador de pequeno porte instrumentado utilizado no experimento.

**Tabela 1 - Especificações do refrigerador (bebedouro).**

Modelo	AMBH
Fabricante	Genarex
Tensão/Frequência	220 V/60 Hz
Fluido Refrigerante	R12
Carga de R12	65 g
Corrente Elétrica Nominal	0,65 A
Pressão de Alta	1265 kPa
Pressão de Baixa	150 kPa

Os manômetros de alta e baixa pressão estavam localizados respectivamente depois da saída do compressor e na sucção deste. As medições referentes às pressões serão realizadas nestes instrumentos. Foi utilizado um termômetro de cinco sensores, dois foram instalados na entrada e saída do evaporador, dois na entrada e saída do condensador e um na descarga do compressor, além de um termopar de dois sensores para medição da temperatura a água do equipamento e da temperatura ambiente, de acordo com a Figura 4. Para avaliação do consumo de corrente elétrica foi instalado um alicate amperímetro ICEL AD 9030 no condutor fase do refrigerador.

**Figura 4 - Esquema do ciclo termodinâmico do bebedouro.**

Na figura acima é possível identificar onde foram instalados os manômetros de alta e de baixa pressão, além dos cinco pontos onde foram conectados os termômetros no ciclo termodinâmico do equipamento, onde (T<sub>1</sub>) é sucção do compressor, (T<sub>2</sub>) descarga do compressor, (T<sub>3</sub>) saída do condensador, (T<sub>4</sub>) entrada do evaporador e (T<sub>5</sub>) Saída do evaporador.

Após ter concluído a instalação de todos os instrumentos de medição no equipamento de teste o refrigerador foi submetido ao processo de vácuo durante 1 hora e 30 minutos para eliminação de umidade no interior do sistema. Em seguida foi realizado o procedimento de carga do fluido

refrigerante R290. Para tal procedimento foi utilizada uma balança eletrônica digital *Accu-Charge II* da MasterCool acoplada a um modelo de carga programável de modo a introduzir a quantidade exata de 25 g de R290 no sistema, representando uma redução de carga de 61% em relação ao R12 (carga de 65 g). Nenhum componente mecânico do refrigerador foi substituído. O equipamento foi ensaiado sem atuação do termostato de modo a garantir o funcionamento contínuo.

Foram realizadas leituras das medidas de temperatura, pressões de alta e baixa e corrente elétrica a cada 2 minutos de operação do refrigerador, durante 1 hora e 30 minutos de ensaio nos pontos determinados. O volume de água contido no recipiente do refrigerador foi de 2,0 litros.

Os dados coletados foram plotados em gráficos como função do tempo e com auxílio do software Coolpack, foram obtidos os diagramas P-h e os resultados referentes ao COP, transferência de calor do evaporador e condensador, trabalho de compressão e razão de pressões.

## MODELAGEM MATEMÁTICA DO SOFTWARE

Para a obtenção das características operacionais do equipamento de refrigeração foi utilizado o software CoolPack. Os parâmetros utilizados foram, as pressões de operação obtidas no ensaio e a seleção do fluido refrigerante (R12 e R290), obtendo os diagramas P-h (pressão-entalpia específica) para cada fluido.

O modelo matemático utilizado pelo software para o cálculo dos parâmetros operacionais é baseado nas entalpias específicas e nas pressões de operação do sistema.

### Efeito de refrigeração

$$q_E = (h_5 - h_4) \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde  $q_e$  significa o calor absorvido no evaporador, em kJ/kg, que é obtido através da diferença entre a entalpia de saída do evaporador e a entalpia entrada do evaporador, de acordo com a Fig.4. Entalpia é o nível de energia do fluido refrigerante que é proporcional à temperatura, ou seja, quanto maior a temperatura maior será a entalpia.

### Efeito de condensação

$$q_C = (h_2 - h_3) \quad [\text{Eq. 02}]$$

Onde  $q_c$  representa o calor dissipado pelo fluido refrigerante no condensador, em kJ/kg. É obtido através da diferença entre a entalpia de entrada do condensador e a entalpia de saída do condensador.

### Trabalho específico de compressão

$$w = (h_2 - h_1) \quad [\text{Eq. 03}]$$



Onde  $w$  representa o trabalho realizado pelo compressor, em kJ/kg. É obtido através da diferença entre a entalpia de descarga do compressor e a entalpia de sucção do compressor.

### **Coefficiente de performance**

$$COP = \frac{q_E}{w} \quad [\text{Eq.04}]$$

Em um ciclo de refrigeração, o objetivo é a remoção de calor do ambiente ou fluido a ser refrigerado. O COP (Coeficiente de Performance) é um parâmetro adimensional e é definido como sendo a razão entre o calor retirado do evaporador ( $Q_e$ ) e o trabalho realizado pelo compressor ( $W$ ). O COP depende da temperatura de evaporação (vaporização), da temperatura de condensação e propriedades do refrigerante na sucção do compressor. Quanto maior for o COP, maior será a eficiência energética do sistema.

### **Razão de pressões**

$$RP = \frac{P_{cond}}{P_{evap}} \quad [\text{Eq.05}]$$

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

O diagrama P-h do R290 plotado através do fornecimento das pressões de operação (alta e baixa) do refrigerador obtidas através do ensaio, no software CoolPack é apresentado na Figura 5. Os valores de pressão utilizados foram obtidos das leituras após cerca de 1 hora de operação, quando o regime de estado estacionário foi alcançado pelo equipamento. A Figura 6 apresenta o diagrama P-h para o R12, vale salientar que não foram realizados ensaios com o R12, devido à indisponibilidade de tal fluido, porém, a performance do ciclo foi avaliada mediante a obtenção das pressões de operação com este fluido, fornecidas na etiqueta do equipamento (ver Tabela 1). A Tabela 2 apresenta o comparativo entre os parâmetros operacionais do ciclo utilizando o hidrocarboneto e o CFC12. Os pontos ilustrados no diagrama significa a localização dos componentes onde (1), é o compressor, entre (2 e 3) fica localizado o condensador, entre (3 e 4) fica o dispositivo que causa a queda de pressão (tubo capilar) e entre (4 e 1) o evaporador.

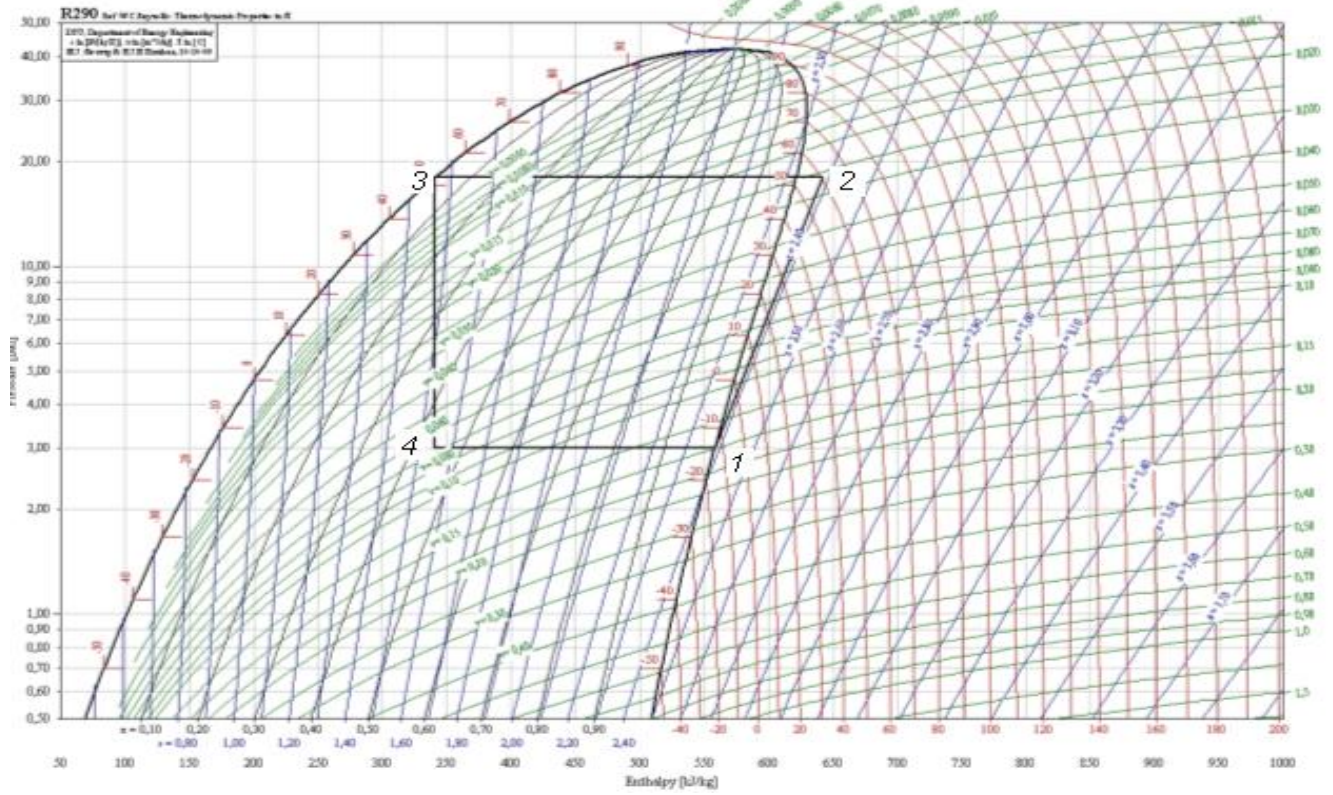


Figura 5 - Diagrama P-h do R290.

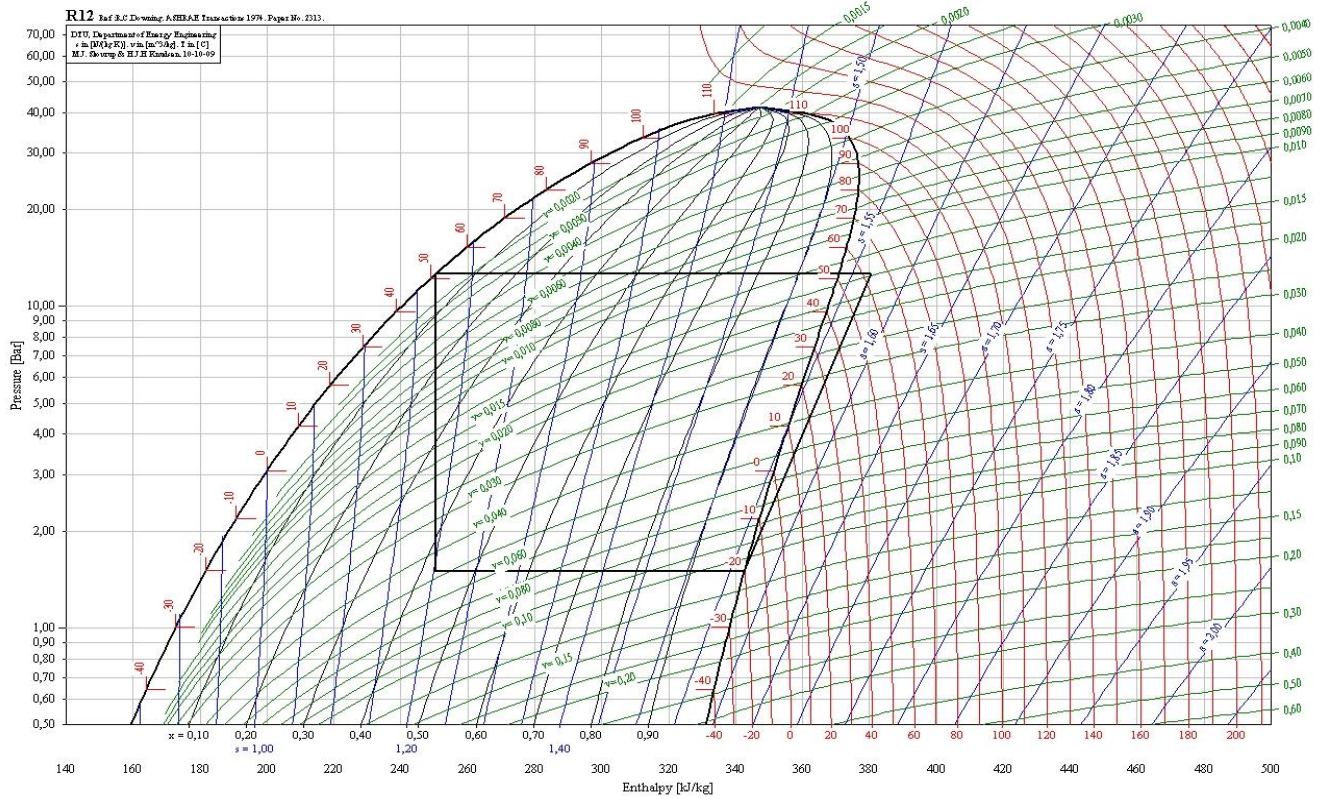


Figura 6 - Diagrama P-h do R12.

**Tabela 2 – Comparação dos parâmetros operacionais do R290 e R12.**

<b>Parâmetros</b>	<b>R290</b>	<b>R12</b>
Qe [kJ/kg]	217,622	92,229
Qc [kJ/kg]	301,479	130,213
COP	2,60	2,43
W [kJ/kg]	83,857	37,983
Razão de pressão [-]	5,983	8,400
Pressões (bar)	3,00 (baixa) e 17,95 (alta)	1,5 (baixa) e 12,6 (alta)

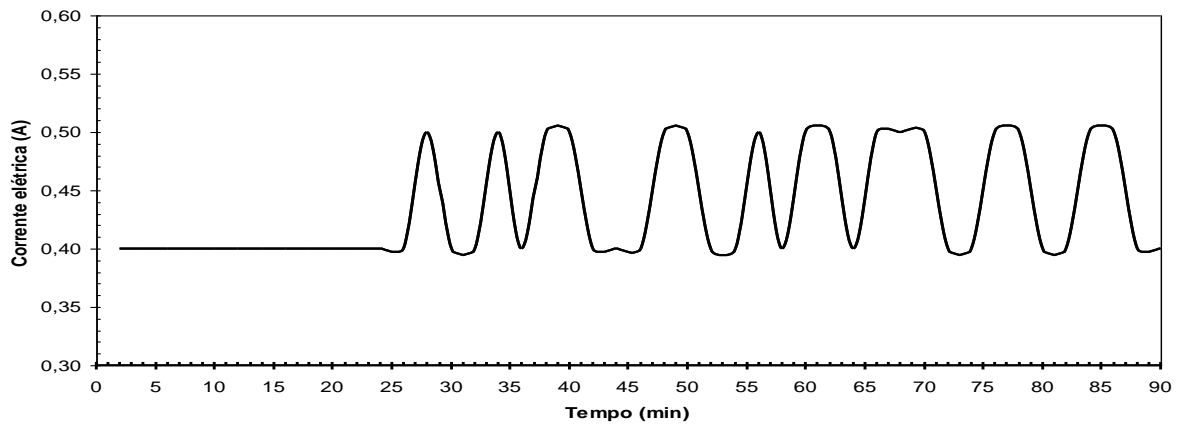
Analisando os parâmetros operacionais apresentados na Tabela 2, observa-se que a utilização do hidrocarboneto proporciona um aumento considerável na capacidade de transferência de calor no evaporador e condensador em relação ao R12 mesmo com uma carga reduzida em cerca de 61%. Tal fato é atribuído ao maior calor latente de vaporização e condensação destes fluidos.

O COP para o equipamento operando com o R290 se apresentou maior cerca de 6% em relação ao R12, propiciando uma maior eficiência energética ao ciclo de refrigeração do equipamento. O R290 requereu um maior trabalho de compressão devido à característica de elevadas pressões de vapor deste fluido, ocasionando também maiores pressões de operação no equipamento.

A razão de pressões para o hidrocarboneto foi cerca de 20% inferior ao R12. A ocorrência deste fato pode proporcionar reduções no consumo de corrente elétrica e, conseqüentemente, reduções no consumo de energia.

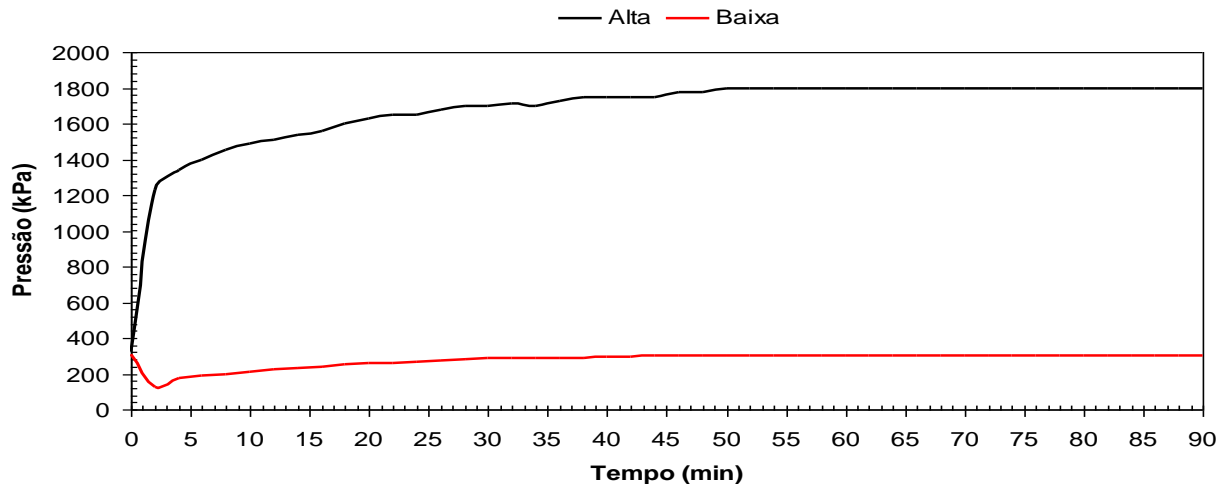
A utilização do R290 foi compatível com os componentes do sistema de refrigeração, inclusive o óleo lubrificante do compressor, demonstrando a aplicabilidade destes fluidos refrigerantes naturais em equipamentos de refrigeração na estratégia de *drop-in*.

A Figura 7 apresenta a corrente consumida pelo compressor com R290, pode-se visualizar que a corrente não se permaneceu estável durante o tempo do ensaio. Oscilando entre 0,50 e 0,40 A, a partir dos 25 minutos de ensaio. Tal fato pode ser prejudicial aos componentes eletromecânicos de acionamento e controle do compressor (relé e protetor térmico). Porém observa-se que o valor médio de corrente consumida em relação ao R12 foi cerca de 30% inferior, proporcionando redução no consumo de energia.



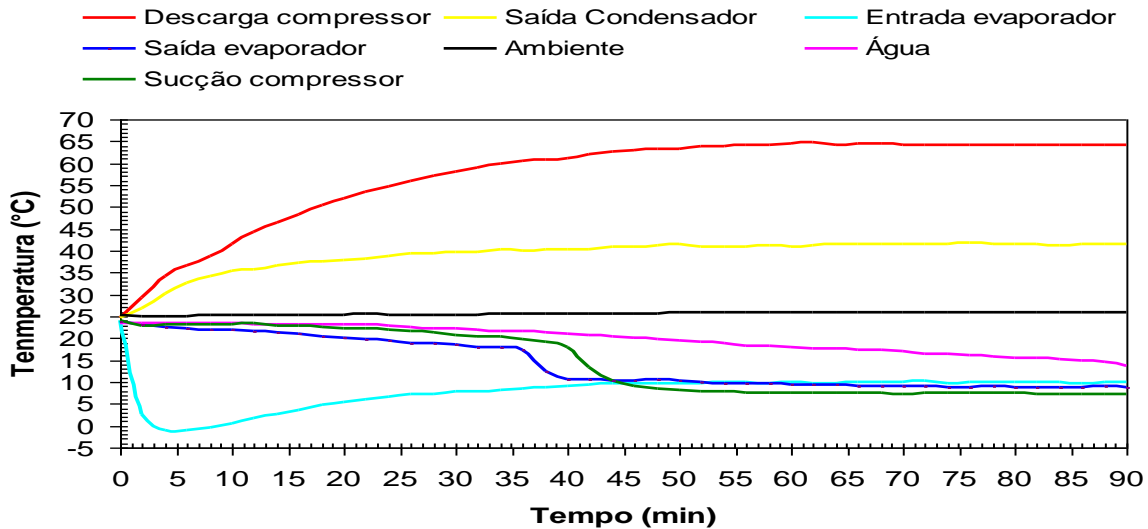
**Figura 7 - Corrente elétrica consumida pelo compressor com R290.**

A Figura 8 mostra o comportamento das pressões com a utilização do R290. Pode-se verificar que as pressões de operação para o hidrocarboneto foram maiores em relação ao R12, mesmo com uma carga de fluido refrigerante reduzida em 38% com relação ao CFC. Tal fato é atribuído às maiores pressões de vapor deste fluido. Mohanraj et al. (2009) afirma que as maiores pressões de operação deste hidrocarboneto proporcionam ganhos em performance para o sistema.



**Figura 8 - Pressões de operação com o R290 em função do tempo.**

Na Figura 9 podemos ver os perfis de variação das temperaturas nos pontos estratégicos ao longo do circuito de refrigeração. Pode-se verificar a compatibilidade da temperatura de descarga do compressor, que se estabeleceu próxima a 65°C, sendo compatível com a operação do fluido original, R12. Observa-se também a redução da temperatura da água de 25°C a cerca de 20°C em 55 minutos de operação do refrigerador para uma temperatura ambiente média de 25°C.



**Figura 9 - Temperaturas obtidas durante o ensaio.**

## CONCLUSÕES

A análise experimental desenvolvida no refrigerador doméstico de pequeno porte utilizando o hidrocarboneto propano (R290) numa estratégia de *drop-in* permitiu obter as seguintes conclusões:

- A corrente elétrica consumida pelo compressor apresentou muitas oscilações durante o ensaio. Tal fato é prejudicial ao compressor. A corrente média para o R290 foi cerca de 30% inferior em relação ao R12.
- Foi observado que após 50 minutos de teste as pressões foram estabilizadas. Após 16 minutos houve formação de gelo no evaporador.
- As pressões de operação para o R290 foram superiores com relação ao R12. A variação de entalpia na mudança de fase do R290 é cerca três vezes superior à do R12. Tal fato contribui para uma redução de carga de fluido refrigerante de cerca de 50%.
- A utilização do hidrocarboneto se mostrou eficiente para o equipamento de pequeno porte. Sendo compatível com o óleo do compressor e não necessitando de substituição de nenhum componente do sistema (*drop-in*). Sugere-se a realização futura de ensaios de longa duração para verificação da miscibilidade do óleo lubrificante com o fluido refrigerante bem como a avaliação de desgaste do compressor.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Pro-Reitoria de Pesquisa e Inovação do IFRN pela concessão de bolsa de iniciação científica e suporte financeiro para o desenvolvimento do projeto de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

1. RICHARDSON, R.N., BUTTERWORTH, J.S., The performance of propane/isobutene mixtures in a vapour-compression refrigeration system. **International Journal of Refrigeration** 18 (1995), Number 1, 58-62.
2. KIM, M.H., LIM, B.H., CHU, E.S., The performance analysis of a hydrocarbon refrigerant R-600a in a household refrigerator/freezer. **KSME International Journal**, Vol.12, No.4, pp.753-760. 1998.
3. HAMMAD, M.A., ALSAAD, M.A., The use of hydrocarbon mixtures as refrigerants in domestic refrigerators. **Applied Thermal Engineering** 19 (1999) 1181-1189.
4. MOHANRAJ, M., JAYARAJ, S., MURALEEDHARAN, C. Improved energy efficiency for HFC134a domestic refrigerator retrofitted with hydrocarbon mixture (HC290/HC600a) as drop-in substitute. **Energy for Sustainable Development** Volume XI, No.4, December 2007.
5. MACLAINE-CROSS, I.L., Why hydrocarbons save energy. **AIRAH Journal** 51, pp. 33- 37.
6. MELO, C.A., JANNUZZI, G.M., O estoque de refrigeradores no Brasil: diferenças e semelhanças regionais por faixas de renda. **Espaço Energia**, Número 08, Abril 2008, ISSN: 1807-8575.
7. TASHTOUSH, B., TAHAT, M., SHUDEIFAT, M.A., Experimental study of new refrigerant mixtures to replace R12 in domestic refrigerators. **Applied Thermal Engineering** 22 (2002) 495-506.